

• 综述 •

国内外海水观赏鱼产业与研究现状

苏志星, 岳彦峰, 蒋科技, 彭士明, 施兆鸿

(中国水产科学研究院东海水产研究所/农业农村部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室, 上海 200090)

摘要: 海水观赏鱼贸易是海洋水族馆贸易行业的重要部分, 是一项价值十几亿美元的产业, 每年交易量达数百万尾, 且需求量逐年上升, 但由于严重依赖野生资源捕捞而使该行业饱受争议。目前, 90%~95% 的海水观赏鱼由野生捕捞获得, 在已知的数千种珊瑚礁鱼类中, 有一半以上在缺乏或无监测情况下进行贸易, 自然资源面临严重威胁。观赏性水产从业者和消费者有责任保护野生捕获物种的可持续发展, 海水观赏鱼的养殖被认为是一种保护野生资源的有效手段, 但仍有许多技术问题阻碍其发展。文章结合相关数据和文献, 概述了国际海水观赏鱼产业现状及最新研究进展, 讨论了海水观赏鱼产业中存在的问题, 并提出了一些可行的解决方案, 旨在为中国海水观赏鱼产业发展提供一定的借鉴和参考。

关键词: 海水观赏鱼; 国际贸易; 人工繁育

中图分类号: S 937.0

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research status of marine ornamental fish industry at home and abroad

SU Zhixing, YUE Yanfeng, JIANG Keji, PENG Shiming, SHI Zhaohong

(East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences/Key Laboratory of East China Sea & Oceanic Fishery Resources Exploitation and Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 200090, China)

Abstract: Marine ornamental fish trade, a key component of the marine aquarium trade industry, is worth more than one billion dollars industry with the trading volume reaches millions per year and rising demand, but the industry has been controversial due to current heavy reliance on wild-collected specimens. At present, 90%–95% of marine ornamental fish species are wild-caught, and over half of the known thousands of coral reef fish species are in trade with poor or no monitoring, which poses a serious threat to natural resources. The ornamental aquatic industry and consumers are a responsible to ensure the sustainable development of wild-caught species, and the cultivation of marine ornamental fish is considered as a responsible alternative to protecting wild resources, but there are still many technical constraints that hinder its development. Combining with relevant data and literature, this paper summarizes the current situation and the latest research progress of the international marine ornamental fish industry, discusses the existing problems, and puts forward some feasible solutions, aiming to provide references for the development of China's marine ornamental fish industry.

Key words: Marine ornamental fish; International trade; Artificial breeding

收稿日期: 2020-07-28; 修回日期: 2020-09-14

资助项目: 中国水产科学研究院基本科研业务费(2020GH08); 广西科技基地和人才专项(桂科 AD17195024)

作者简介: 苏志星(1991—), 男, 硕士, 助理研究员, 从事海水观赏鱼类繁育和养殖生态学研究。E-mail: zxsu1991@hotmail.com

通信作者: 岳彦峰(1985—), 男, 硕士, 助理研究员, 从事海水观赏鱼类苗种培育和生理生态学研究。E-mail: 92431429@qq.com

海水观赏鱼类一般是指生活在热带珊瑚礁水域的鱼类,因其色彩艳丽、形态奇特、游姿婀娜而具有很高的观赏价值,深受海洋水族馆和私人爱好者的欢迎。海水观赏鱼类主要分布在印度洋、太平洋以及加勒比地区的珊瑚礁栖息地,市场上 98% 的海水观赏鱼都是从热带发展中国家海域捕捞而来^[1],销往美国、欧洲和日本等国。与全球经济鱼类贸易相比(食用活鱼、干制品、加工鱼制品等),海水观赏鱼贸易被认为是一种高价值、低产量的产业^[2]。海水观赏鱼贸易为发展中国家渔民提供了生计选择,提高了从事观赏鱼捕捞、贸易事业群体的收入和生活水平,同时为发展中国家创造了一定的外汇来源,因此受到了极大的推崇。进入 21 世纪后,随着捕捞方式改变、运输技术提高、水族馆设备创新和养殖技术提升,海水观赏鱼在全球范围内进一步扩散^[3]。观赏鱼文化也仅次于摄影成为全球第二的大众爱好^[4]。Pouil 等^[5]收集了近些年有关海水观赏鱼研究的文献,通过定性和定量的方法探讨了学术研究在海水观赏鱼生产中的作用和影响,并从人工养殖物种总数的角度对结果进行了分析,提出应进一步加强学术研究在海水观赏鱼贸易中发挥的作用。Chen 等^[6]通过人工养殖海水观赏鱼繁殖生物学、传统和新型饲料、饲养方式和养殖前期存在的问题等方面对其养殖现状进行了综述,并建议将优化活饲料的质量和数量、建立仔鱼饲养规范作为今后的研究重点。以上研究都很好地介绍了目前国际海水观赏鱼的贸易和研究现状,但也存在一定缺陷,例如文献收集不全面、缺乏历年国际海水观赏鱼贸易数据等。马本贺等^[7]对全球海水观赏鱼分布位置和贸易情况进行了详细叙述,但有关中国海水观赏鱼贸易数据的描述不清晰,对现阶段产业中存在的问题也未提出行之有效的解决方法。本文结合相关文献和数据,对国内外海水观赏鱼产业现状进行了定量分析,介绍了近几年海水观赏鱼人工养殖最新研究进展,讨论了海水观赏鱼产业存在的问题并提出了解决办法,旨在为中国海水观赏鱼产业发展提供借鉴和参考。

1 国内外海水观赏鱼贸易现状

全球海水观赏鱼贸易始于 20 世纪 30 年代的斯里兰卡^[8-9]。自 20 世纪 80 年代末以来,海洋水族馆日益普及已成为一种主导趋势,越来越多的珊瑚礁鱼类进入水族馆贸易清单^[10]。20 世纪 90 年代起,随着人工饲养和维生系统技术的快速发展,海水鱼类养殖变得更加容易,私人爱好者也不仅仅满足于水族箱饲养,而偏爱构建更加完整的珊瑚礁生态系统,海水观赏鱼(特别是珊瑚礁鱼种)的需求也呈指数增长。

海水观赏鱼贸易已发展成为一个国际性产业,年交易

量达数百万尾,是全球范围内移动动物数量最多的行业之一^[11],据估计,其直接或间接从业人员达 200 多万,主要包括捕捞者、饲养者、出口商、进口商、零售者以及私人爱好者^[12-13],形成了一条长期、分散和高度复杂的供应链。根据相关数据,每年在市场上进行交易的观赏鱼主要包括 4 000 多种淡水鱼和 1 400 多种海水鱼,约占国际渔业贸易总量的 0.5%^[2]。有趣的是,海水观赏鱼贸易总量仅占观赏鱼贸易总量的 10%,但贸易总额却占观赏鱼贸易总额的 25%^[14-15]。海水观赏鱼是一种高价值、低产量的商品,估计平均价格为 247 美元·kg⁻¹,而经济食用鱼类的价格为 6 美元·kg⁻¹^[16]。与大多数可人工繁育的淡水观赏鱼相比,95% 的海水观赏鱼来自于野生捕捞,其中被大量交易的物种超过 800 种^[9,17]。据估计,海水观赏鱼每年贸易价值超 15 亿美元,全球每年有 $2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^7$ 尾海水观赏鱼和无脊椎动物从野外捕获,并出售给数百万观赏鱼爱好者^[1,9,18]同时带动了包括家庭水族箱、装饰植物、配件、饲料和药物等整个行业数十亿市场的发展。

印度洋-太平洋热带海域因其丰富的生物多样性而成为海水观赏鱼最重要的供应中心,全球 56% 的海水观赏鱼由亚洲国家提供,其中东南亚是最主要的出口地区(约占出口总量的 51%)。世界粮农组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)渔业贸易统计数据库数据显示,2012—2017 年,泰国所占出口份额最大,约为 43% (不包括再出口,下同),其次是印度尼西亚和菲律宾,分别占 23% 和 22%,新加坡约占 6% (图 1),但有报道显示新加坡是东南亚最大的出口国^[19-21],造成差异的原因在于本文统计的数据不包括再出口海水观赏鱼贸易总量,而新加坡海水观赏鱼出口数量巨大主要通过进口后再出口实现。此外,澳大利亚、斯里兰卡、斐济、美国夏威夷、巴西、马尔代夫等国也是海水观赏鱼的重要来源地^[22]。2005 年已有超过 45 个国家向全球市场供应海水观赏鱼类,截止到 2017 年已发展到 50 个国家^[9]。

大多数海水观赏鱼进口国位于西半球,美国是最大的海水观赏鱼进口国,欧盟拥有全球最大的海水观赏鱼市场,其中欧盟 27 国中仅是英国、德国、意大利、法国和荷兰 5 个国家就占欧盟进口总额的 85%^[23-24]。2017 年荷兰海水观赏鱼进口总额首次超过了美国,成为全球进口总额最大的国家(图 2),这可能与其地理位置有关(西伯利亚大陆桥欧洲终点),更利于成为欧洲海水观赏鱼市场集散中心,而其国内海水观赏鱼保有量并不高(多用于再出口),2017 年 FAO 渔业商品及贸易数据也显示,荷兰海水观赏鱼进出口总量十分接近,这也进一步证明了上述观点。

目前国际贸易的主导海水观赏鱼种类有雀鲷科、刺尾

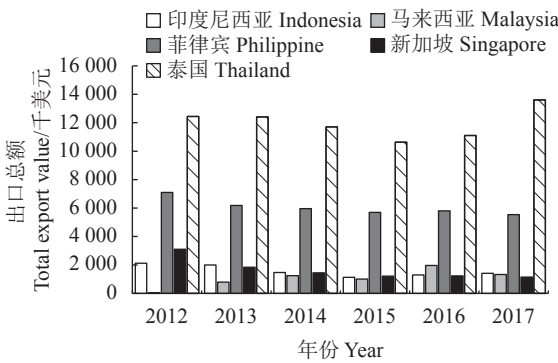


图1 2012—2017年东南亚国家海水观赏鱼出口总额
Figure 1 Total export value of marine ornamental fish in Southeast Asian countries from 2012 to 2017

鲷科、鳞鲀科、隆头鱼科、盖刺鱼科、蝴蝶鱼科和海龙科^[10], 表 1 列出了全球十大海水观赏鱼贸易品种, 主要分布在印度洋和太平洋热带珊瑚礁海域, 国际自然保护联盟 (International Union for Conservation of Nature, IUCN) 濒危物种红色名录状态绝大部分为无危物种。

中国观赏鱼养殖历史悠久, 自唐宋时期就有观赏鱼养殖记载^[7]。中国观赏鱼养殖以淡水鱼为主, 人工繁育技术也非常成熟, 海水观赏鱼类在很早之前也已开展人工繁育研究, 部分品种也达到了商业生产的要求, 但这些品种主

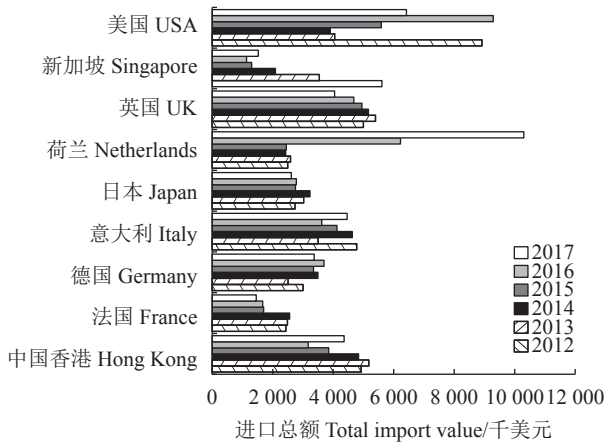


图2 2012—2017年全球主要海水观赏鱼进口国/地区进口总额
Figure 2 Total import value of major marine ornamental fish importing countries/regions in the world from 2012 to 2017

要被当作食用或药用鱼类, 并未计入观赏鱼类, 所占观赏鱼市场份额也较少。总体上, 中国海水观赏鱼产业发展较慢, 养殖规模较小, 与国际社会存在一定的差距, 目前主要依赖进口来满足市场需求。根据 FAO 数据 (图 3), 2014 年以后, 中国海水观赏鱼进口总量和总额迅速增加 (不包括香港和澳门), 但考虑到中国的人口体量, 人均海水观赏鱼占有量和西方发达国家仍存在很大差距, 这也表明

表1 全球十大海洋观赏鱼交易品种

Table 1 Worldwide top ten traded species of marine ornamental fish in the world

科属 Family	俗名 Common name	国际自然保护联盟红色名录状况 IUCN Red List Status	主要分布区域 Main distribution area
雀鲷科 Pomacentridae			
豆娘鱼属 <i>Abudefduf</i> spp.	—	—	—
波浪雀鲷 <i>Chrysiptera biocellata</i>	双斑豆娘鱼	未评估	印度洋-太平洋
蓝刻齿雀鲷 <i>Chrysiptera cyanea</i>	蓝魔	未评估	印度洋-西太平洋
红海双带小丑 <i>Amphiprion bicinctus</i>	二带双锯鱼	无危	西印度洋
白条双锯鱼 <i>Amphiprion frenatus</i>	番茄小丑	无危	西太平洋
眼斑双锯鱼 <i>Amphiprion ocellaris</i>	眼斑海葵鱼	无危	西太平洋
黑双带小丑鱼 <i>Amphiprion sebae</i>	金武士	未评估	印度洋
刺尾鲷科 Acanthuridae			
黄尾副刺尾鱼 <i>Paracanthurus hepatus</i>	蓝吊	无危	印度洋-太平洋
隆头鱼科 Labridae			
裂唇鱼 <i>Labroides dimidiatus</i>	医生鱼	无危	印度洋-太平洋
蝴蝶鱼科 Chaetodontidae			
马夫鱼 <i>Heniochus acuminatus</i>	长鳍关刀	无危	印度洋-太平洋

注: 国际自然保护联盟的现状: 无危; 数据缺乏; 未评估; 易危; 数据来源于全球海水水族馆数据库

Note: IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources) Red List Status: Least concern (LC); Data deficient (DD); Not evaluated (NE); Near threatened (NT); Vulnerable (VU). The data come from the Global Marine Aquarium Database (CMAD).

中国海水观赏鱼市场仍具有巨大的开发潜力。中国水族馆观赏鱼贸易以淡水鱼为主,目前出口的观赏鱼均为淡水物种,共涉及12个品种,而具有贸易潜力的共有346种,其中海水观赏鱼类共涉及62科295个品种(表2),物种数量最多的是隆头鱼科,其次是盖刺鱼科和蝴蝶鱼科,IUCN红色名录中78%的物种状态为无危,其中99%具有贸易潜力的海水观赏鱼都是野生捕捞而来[数据由世界鱼类数据库(FishBase)整理得到]。

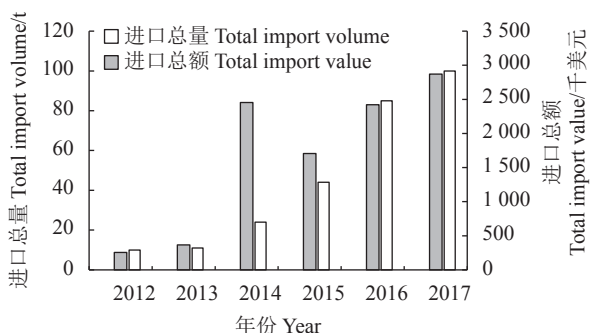


图3 2012—2017年中国(不包括香港和澳门)海水观赏鱼进口总量与总额

Figure 3 Total import volume and value of marine ornamental fish in China (Excluding Hong Kong and Macau) from 2012 to 2017

野生海水观赏鱼的捕捞对自然环境产生许多潜在威胁,主要包括鱼类栖息地破坏和过度开发^[9]。到目前为止,全世界超过19%的珊瑚礁原始面积已彻底消失,15%的珊瑚礁在未来10~20年内将遭受严重“漂白”威胁,20%的珊瑚礁在20~40年内将遭受“漂白”威胁^[24-25],据估计,88%的珊瑚礁正在遭受人为中度或重度威胁^[26]。在东南亚一些国家,例如菲律宾和印度尼西亚,利用毒药(氰化物和喹那丁)毒晕目标鱼类的方法盛行,甚至使用炸药炸鱼,这些方法使捕获目标鱼类变得更加容易,却对珊瑚礁生态系统造成毁灭性打击。此外,由于毒药的迟发性毒性,包装和运输操作不当,长期禁食,疾病频发等各种原因,导致出口的海水观赏鱼死亡率超过80%。如图4所示,从捕获到最终买家所经过的流程,预计只有30%~40%的鱼得以存活^[27-28],由此也可推测,从珊瑚礁捕获的海水观赏鱼数量要远远大于目前的实际交易量^[29]。

近些年,越来越多的人意识到,如此严重地依赖野生捕捞来满足消费者对海水观赏鱼类的需求,不可避免地会对珊瑚礁和海洋生态系统造成直接负面影响^[1]。《濒危野生动植物种国际贸易公约》(CITES)野生动植物贸易条例旨在保护物种生存不受国际贸易影响,该数据库常被用于追踪海水观赏鱼国际贸易情况^[30-31]。然而,目前《野生动植物贸易条例》仅保护或监测了极少数海水观赏鱼类品种,

例如海马(海马属)、波纹唇鱼(*Cheilinus undulatus*)和塞拉里昂刺蝶鱼(*Holacanthus clarionensis*),而像考氏鳍竺鲷(*Pterapogon kauderni*)和三带双锯鱼(*Amphiprion percula*)(已被列入濒危物种法案)均未得到记录。因此,研究人员及相从业者将更多的目光聚焦于海水观赏鱼的可持续发展,在全世界范围内努力减少野生捕捞对其造成的生存压力。

2 海水观赏鱼人工养殖现状

海水观赏鱼的人工养殖被认为是减轻野生资源压力的有效手段。珊瑚杂志(<https://www.coralmagazine.com>)的问卷调查发现,98%的受访者认为人工养殖对海水观赏鱼贸易的可持续发展至关重要。虽然此次调查的受访者为该杂志的注册用户,具有爱好偏向,但以上数据在一定程度上反映出人工养殖是未来观赏鱼贸易的发展方向。一方面,海水观赏鱼人工养殖可减少市场对自然资源的依赖,不仅可以拯救濒危物种,保护珊瑚礁生态系统,还可以促进海水观赏鱼贸易的良性发展;另一方面,海水观赏鱼人工养殖还能提供就业机会,提高居民平均收入和生活水平,同时也为国家创造更多的外汇收入。美国作为最大的观赏鱼进口国,其人工养殖技术也居于世界领先地位,欧盟、亚洲和澳大利亚的养殖产业也逐渐兴起,值得注意的是,除了专业的养殖公司和企业,私人爱好者在海水观赏鱼人工养殖产业发展中也起到了重要作用^[32]。

然而到目前为止,可人工繁育海水观赏鱼类品种仅300多种,真正实现商业化生产的仅有30~40种,不足珊瑚礁鱼类品种的1%^[17,33]。人工繁育鱼类具有适应性强、死亡率低、生命周期长等特点,导致其市场价格比野生鱼高约25%^[32,34]。自2013年以来,珊瑚杂志和海洋育种计划(<http://www.mbisite.org/>)合作的年度项目,每年更新报道了所有人工养殖和繁育的海水观赏鱼种类清单,从2015年的296种增加到2019年的398种(图5),取得了巨大进步。珊瑚杂志将这些物种的商业化程度标记为3种状态:整年供应、适度供应和稀缺。截至2019年,市场上可整年供应的海水观赏鱼仅有46个品种,这些品种已完全实现了人工繁育,数量可观,可常年在市场中购买;适度供应的品种为48个,这些品种生产数量有限,每年只有几次推向市场,初步实现人工繁育;稀缺物种指那些还无法正常人工繁育的品种,数量极其有限,规模小,无法实现量产,在市场中一般也较难购买,这些品种数量浮动较大,一般介于30~50种,说明养殖难度极大(耐受性低,应激反应强烈),繁育环境难以掌控,导致供应链极其脆弱。中国很早就开展了海水观赏鱼类的繁育研究,例如小丑鱼、驼背鲈(*Chromileptes altivelis*)、海马、波纹唇鱼以及条石鲷(*Ople-*

表2 目前中国具有贸易潜力的海水观赏鱼类品种

Table 2 Marine ornamental fish species with trade potential in China

科属 Family	物种数量 Number of species	国际自然保护联盟红色名录状态 IUCN Red List Status /%				
		无危 LC	未评估 NE	近危 NT	数据缺乏 DD	易危 VU
刺尾鱼科 Acanthuridae	14	93			7	
躑鱼科 Antennariidae	4	75	25			
鳞鲀科 Balistidae	9	11	89			
鰺科 Blenniidae	6	100				
鲹科 Carangidae	2	100				
玻甲鱼科 Centriscidae	2	50			50	
蝴蝶鱼科 Chaetodontidae	31	100				
鱼翁科 Cirrhitidae	4	100				
二齿鲀科 Diodontidae	3	67	33			
塘鳢科 Eleotridae	2	100				
鰕鲁鱼科 Gobiidae	21	57	43			
金鳞鱼科 Holocentridae	4	100				
隆头鱼科 Labridae	51	98	2			
笛鲷科 Lutjanidae	6	100				
弱棘鱼科 Microdesmidae	2	50	50			
单棘鲀科 Monacanthidae	5	80				20
鲉科 Muraenidae	4	100				
须鲷科 Mullidae	8	87	13			
金线鱼科 Nemipteridae	2	100				
箱鲀科 Ostraciidae	3		100			
拟鲈科 Pinguipedidae	3	33	67			
盖刺鱼科 Pomacanthidae	37	59	41			
大眼鲷科 Priacanthidae	2	100				
拟雀鲷科 Pseudochromidae	3	67	33			
鹦嘴鱼科 Scaridae	11	91				9
石首鱼科 Sciaenidae	2		100			
鲉科 Scorpaenidae	6	100				
鲷科 Serranidae	3	100				
蓝子鱼科 Siganidae	5	100				
海龙科 Syngnathidae	3	33				67
四齿鲀科 Tetraodontidae	5	100				
鰐科 Uranoscopidae	2	50	50			
其他 Other	30	57	33	7	3	
总计 (物种总数百分比) Total (Total species)/%	295 (100.0)	230 (78.0)	56 (19.0)	2 (0.7)	3 (1.0)	4 (1.3)

注：数据来源于世界鱼类数据库

Note: The data come from FishBase.

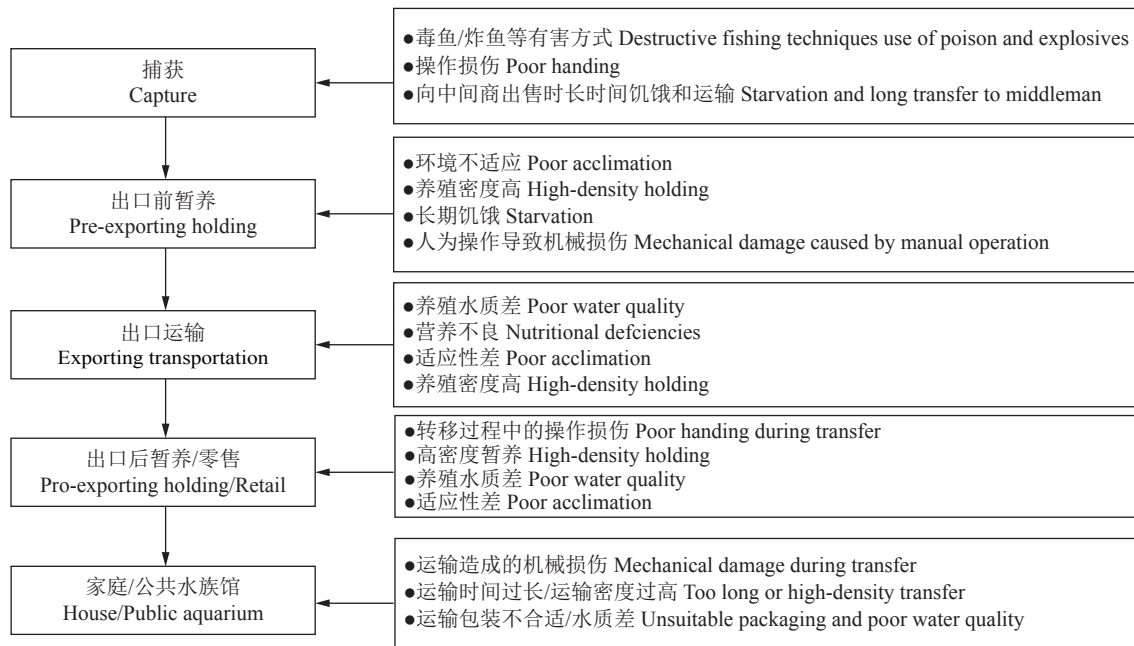


图4 出口海水观赏鱼高死亡率的原因 (从捕获到买家的所有流程)

Figure 4 Reasons for high mortality of exported marine ornamental fish (All processes from catch to consumer)

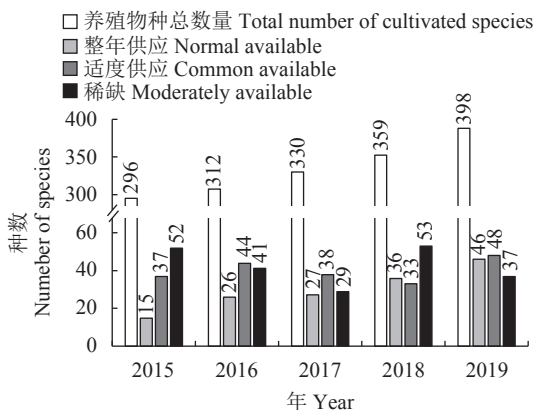


图5 2015—2019年海水观赏鱼人工养殖物种总数及市场供应情况

Figure 5 Total number of culture-bred marine ornamental fish species and market supply from 2015 to 2019

gnathus fasciatus) 等, 部分品种也达到了商业生产要求, 但绝大部分主要都作为食用或药用鱼类, 此外由于中国缺乏专业的海水观赏鱼人工繁育统计数据, 海水观赏鱼品类又极其繁多, 因此无法准确获取已实现人工繁育的海水观赏鱼种类和市场供应情况。市场需求推动产业发展, 养殖者对海水观赏鱼不断尝试和开发, 新品种层出不穷, 说明海水观赏鱼人工养殖市场巨大有待拓展。

3 海水观赏鱼研究进展

3.1 人工繁育

黄高鳍刺尾鱼 (*Zebrasoma flavescens*) 是贸易量最大的

海水观赏鱼之一, 价格高昂, 每年野生捕捞量超 40 万尾^[33]。早期人工养殖条件下, 由于产卵数量有限且初孵仔鱼个体太小 (约 1.5 mm) 等限制因素, 人工繁育难以取得成功^[35]。夏威夷太平洋大学海洋研究所 (Oceanic Institute of Hawaii Pacific University, OI) 一直致力于研究黄高鳍刺尾鱼的人工繁育技术, 并在 2015 年底成功实现受精卵到幼鱼的培育。在人工养殖条件下, 黄高鳍刺尾鱼繁殖具有明显的月周期和年周期, 满月、春末到夏末是其产卵高峰期, 这与野生群体相似^[36]。夏威夷太平洋大学海洋研究所研究人员将黄高鳍刺尾鱼养殖在 5 000 和 30 000 L 的玻璃纤维池中, 水深约 1 m, 并获得了受精卵, 受精卵在 27 °C 下孵化 20 h 后出膜, 3 d 后开口, 前期主要投喂桡足类无节幼体, 之后投喂营养强化后的轮虫、卤虫以及人工饲料。虽然, 第一次进食后初孵仔鱼大量死亡, 但仍有部分个体存活了下来, 3 批受精卵成功获得了 1 000 多尾幼鱼。养殖 55 d 后幼鱼身体开始出现黄色, 大多数鱼在 65 d 后达到 3~4 cm 大小的完整着色幼体。与之前研究相比, 通过提高水体交换率保持良好水质并及时清除残余桡足类无节幼体 (防止生长过大) 等新的饲养方法是获得成功的关键^[37]。

黄尾副刺尾鱼 (*Paracanthurus hepatus*) 性腺成熟分为 5 个阶段, 是一种全年产卵的鱼类, 与卵巢发育相关的睾酮 (T)、17 β -雌二醇 (E2) 和 17 α , 20 β -二羟基-4-孕烯醇-3-酮 (DHP) 水平在 3—7 月均较高, 产卵高峰期在 4—9 月^[38-39], 初次性成熟周期为 9—12 月。2015 年, Kusumawati 等^[40]将收集的黄尾副刺尾鱼受精卵在 29 °C 海水中经过大约

23 h 的孵化, 成功得到初孵仔鱼, 第2天开始投喂天然浮游生物饵料, 第3天开始投喂轮虫, 但仔稚鱼在第25天全部死亡。Dimaggio 等^[41]采用了与OI研究人员相似的培育方法, 将收集的500 000枚黄尾副刺尾鱼受精卵于1 000 L水箱中进行孵化, 初孵仔鱼第3天开始投喂桡足类无节幼体, 在第12天开始投喂营养富集的轮虫、卤虫和干饲料, 到第50天时幼鱼身体开始有蓝色色素沉着, 最终成功培育出27尾幼鱼, 标志着黄尾副刺尾鱼人工繁育的成功。虽然, 目前上述两种海水观赏鱼的人工繁育成活率极低, 无法实现商业化生产, 但幼鱼的成功培育标志着相关研究的巨大突破, 为产业化养殖提供了可能。

中国作为水产养殖大国, 近些年海水观赏鱼的人工繁育技术也取得了长足进步, 例如小丑鱼、波纹唇鱼、驼背鲈和线纹海马等很早就已实现了人工繁育, 部分品种也达到了规模化生产。近几年, 狐篮子鱼(*Siganus vulpinus*)人工繁育技术的突破是我国海水观赏鱼研究取得的重要进展之一。狐篮子鱼又名狐狸鱼, 岳彦峰等^[42]将野生狐狸鱼亲鱼在室内水泥池中进行驯化, 并通过投喂60%颗粒饲料、20%虾肉、10%蛤肉、5%鱼肝油、2%V_C、1%营养强化剂和2%螺旋藻粉对亲鱼进行强化培养, 亲鱼自然配对后产卵受精, 并成功收集了21.3万粒受精卵, 受精卵在28~29℃条件下经过25 h孵化破膜, 初孵仔鱼前15 d主要投喂轮虫, 15 d后改投1 mm以下小规格桡足类, 25 d后投喂1 mm以上的大规格桡足类, 待仔鱼发育到幼鱼时开始投喂肉糜和颗粒饲料, 最终成功培育出狐狸鱼幼鱼1 000余尾, 标志着狐狸鱼人工繁育的成功。除此之外, 洪文霆^[43]对7种引进的刺尻鱼(*Centropyge*)亲鱼进行驯化和配对, 通过强化培养后成功使多对刺尻鱼在人工养殖条件下产卵, 其中黄尾刺尻鱼(*C. flavicauda*)和荆眼刺尻鱼(*C. acanthops*)配对多且产卵稳定, 通过对这2种鱼的胚胎和早期发育过程进行记录, 发现温度与孵化时间呈负相关, 光照对胚胎发育具有一定损害从而影响孵化率, 初孵仔鱼在第3天开口, 采用人工配合饵料、牡蛎受精卵、ss型轮虫和野生浮游生物4种饵料进行混合投喂, 但3 d后仔鱼摄食率显著降低, 绝大部分仔鱼在6 d后死亡, 无仔鱼存活到第9天, 开口饵料的营养不足以及不适口可能是导致仔鱼变态困难而死亡的主要原因, 虽然刺尻鱼初孵仔鱼没有发育到幼鱼阶段, 但该研究对后续刺尻鱼人工繁育技术的探究具有重要的指导意义。

海水观赏鱼初孵仔鱼个体普遍较小、脆弱、生理功能发育不全, 因此选择合适的开口饵料对初孵仔鱼的培育至关重要。初孵仔鱼由内源性营养向外源性营养转变的过渡期很短, 导致初次开口摄食时大量死亡。如何实现仔稚鱼

向幼鱼的变态是海水观赏鱼人工养殖研究面临的最大瓶颈。目前, 天然浮游生物(桡足类无节幼体或成体、轮虫、卤虫)是初孵仔鱼开口饵料的首选。Holt 等^[37]成功培育了黄高鳍刺尾鱼, 初孵仔鱼开口时及时清除投喂的桡足类无节幼体(防止幼体长成成体)是成功的关键, 说明猎物的大小和可捕获程度影响着仔鱼的摄食偏好和存活, 意味着开口活体饵料被限制为小而不难捕捉的生物。桡足类无节幼体和成体的运动特性差异明显, 与成体相比, 无节幼体逃逸速度较差。Højgaard 等^[44]发现眼斑双锯鱼(*Amphiprion ocellaris*)幼鱼对桡足类无节幼体、成体的识别和捕获能力不同, 与成年桡足类相比, 幼鱼对无节幼体的反应距离较短, 但反应视角更宽, 导致幼鱼对两种饵料生物的摄食概率相同, 显而易见, 摄食较大个体所获得的能量更多, 更有利于幼鱼的生长和存活。一般认为, 当活体饵料宽度比鱼的口裂小20%~50%可促进摄食, 但海水观赏鱼类初孵仔鱼开口时的口裂大小缺乏研究, 导致初食活饵的选择变得更加困难。黄高鳍刺尾鱼初孵仔鱼在第3天时张口高度和宽度大约为265和126 μm^[45], 因此提供比桡足类无节幼体更小的活体饵料(如鞭毛藻和纤毛虫等)可能会进一步提高黄高鳍刺尾鱼仔鱼的成活率。Leu 等^[46]也认为纤毛虫(体型更小可替代桡足类无节幼体)对初孵仔鱼第一次开口摄食具有重要意义, 采用纤毛虫+轮虫+桡足类无节幼体组合投喂方式可以显著提高蓝带荷包鱼(*Chaetodontoplus septentrionalis*)初孵仔鱼的成活率。

虽然桡足类、轮虫、卤虫和纤毛虫等被大量应用于海洋观赏鱼初孵仔鱼的开口饵料, 但仔鱼开口期还是会出现大量死亡, 除了大小不适口和难以捕捉之外, 这些活体饵料也缺乏大多数海洋鱼类幼体所需的必需脂肪酸结构, 这可能是导致高死亡率的原因之一。有研究报道, 利用高度不饱和脂肪酸(HUFA)富集的轮虫作为开口活饵料可显著提高菲格罗霓虹灯虎鱼(*Elacatinus figaro*)和眼斑双锯鱼初孵仔鱼的成活率^[47-49], 这在黄高鳍刺尾鱼人工繁育研究中也得到了证实, 因此, 活体饵料的营养富集对海水观赏鱼仔稚鱼成活率的影响可能成为今后的研究重点。

3.2 性别转变

小丑鱼是一种雌雄同体的鱼类, 在野生环境中, 先雄后雌, 雌性个体比雄性个体大。在自然状态下, 小丑鱼形成一个社会群体, 由一夫一妻制的繁殖者和几个亚成年的非繁殖者或幼鱼组成。小丑鱼社会群体具有严格的社会等级, 雌性是社会群体中个体最大且占主导地位的成员, 对下属群体成员表现出主导行为, 排名第二的个体成为雄性, 攻击性较弱, 而其他成员仍然是具有两性的非繁殖个体, 很少有攻击性行为, 如果雌性从社会群体中消失, 雄

性将性转变为雌性,最大的非繁殖个体将成为功能性雌性^[50]。然而,在人工养殖条件下,当两个具有双性生殖腺的未成熟个体一起饲养时,它们会直接分化为雄性和雌性,形成一对配对的繁殖亲本。有趣的是,并不是所有的配对繁殖亲本都会进行繁殖活动(非繁殖配对亲本)。Iwata 等^[51]发现,繁殖亲本和非繁殖亲本的雌性个体具有成熟的卵巢组织和相近的血浆 17 β -雌二醇浓度水平,但与繁殖的雄性相比,非繁殖的雄性睾丸组织数量较少,血浆 11-酮睾酮(KT)水平较低。显然,群体中非繁殖配对亲本的存在会极大压缩或削弱群体的繁殖能力,不利于种群的延续。因此,能够定向控制性别分化并产生具有繁育功能的配对亲本,对小丑鱼的人工繁殖具有重要意义。

小丑鱼的社会等级发生在生命早期,群体内的社会地位与生殖状态、固醇类激素水平差异有关。大多数情况下社会等级是稳定的,但内分泌干扰物,如 17 α -炔雌醇(EE2)会加剧鱼类的攻击行为,影响社会等级的稳定^[52]。Iwata 等^[53]探讨了皮质醇在雌雄同体的眼斑双锯鱼幼鱼性别决定中的作用,表明社会等级引起的性别分化是由皮质醇介导的,皮质醇浓度越高社会等级越不稳定,长期作用下可能导致雄鱼的雌性化。众所周知,高浓度皮质醇抑制芳香化酶基因的转录,导致鱼类雄性化,在雌雄同体的小丑鱼中皮质醇和芳香化酶具有相似的调节机制,但结果却与之前的研究相矛盾,所以皮质醇对小丑鱼性别决定影响还有待更深入的探究^[54]。不同性激素对鱼类的性别诱导结果不同^[55],有研究表明,通过浸泡和口服的方式,将雌雄同体的眼斑双锯鱼幼鱼暴露于 17 α -甲基睾丸酮(MT)中,可促进幼鱼向雄性性别表达,而暴露于 17 β -雌二醇中可促进幼鱼向雌性性别表达^[56-57]。此外,在多配偶雌雄同体鱼类中,例如裂唇鱼(*Labroides dimidiatus*),因为种群密度的降低,会发生兼性一夫一妻制,如果此时由于意外而失去配偶的雄性,在没有其他雄性、雌性或幼鱼迁移到它的领地或与附近单个雌性配对时,这些“丧偶”雄性会主动寻找新配偶(无论雄性还是雌性),当两个雄性个体配对后,体型较小的雄性会性逆转为雌性,即“低密度假说”^[58]。

中国对于海水观赏鱼的性别转变研究较少,仅一些食用兼观赏性海水鱼类有过相关报道。石斑鱼属于雌性同体鱼类,低龄时表现为雌性,高龄时性逆转为雄性,黄文等^[59]以斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)为研究对象,在石斑鱼幼鱼卵巢发育之前,用含有 MT 的饲料投喂 3 个月,成功诱导幼鱼性腺向雌性转化,但停止投喂 MT 后幼鱼精巢又会发生退化并逐渐转变为雌性个体,说明激素无法从根本上改变性腺发育方向,性别分化更多受到遗传因子的调控。黑鲷(*Canthopagrus schlegelii*)是一种高价值海水

鱼类,其在 3 龄时会发生雄性向雌性的性转变,陈淑吟等^[60]通过对池塘养殖 3~4 龄黑鲷性别变化进行定期观察,发现繁殖前其性腺主要呈精巢为主的雌雄同体形式,繁殖期雌性约占 15%,繁殖后至 7 月初性腺逐渐转变为卵巢为主的雌雄同体形式且精巢持续退化,并在 8 月全部表现为卵巢形式,10 月初精巢又开始增殖,12 月底又发育为雌性、雄性和雌雄同体 3 种存在形式。以上结果表明,群体社会等级、固醇类激素、群体密度和繁殖阶段都会影响鱼类的性别逆转,所以合理控制这些影响因子对人工海水观赏鱼繁育具有重要意义。总体上,中国对海水观赏鱼性别转变缺少研究,特别是目前主要的国际贸易品种,所以应进一步加强相关研究。

3.3 体色变化

体色是影响海水观赏鱼观赏价值和市场价格的最主要因素之一。与野生海水观赏鱼相比,人工养殖鱼类的体色在色调、亮度和饱和度等方面较差^[61]。鱼的体色是由位于表皮下的色素细胞形成的^[62],易受光照、水质和饵料质量等环境因素的影响。黑色素、类胡萝卜素、嘌呤和嘧啶是为色素细胞提供颜色的化合物,但鱼类自身无法自主合成类胡萝卜素,需从外源食物中获得。因此,在人工养殖条件下,饲料中的类胡萝卜素的种类、含量和投喂时间对鱼体色具有重要影响。

Devi 等^[63]利用 4 种不同来源的天然类胡萝卜素[红江蓠(*Gracilaria rubra*)、褐马尾藻(*Sargassum fuscifolium*)、甜菜(*Beta vulgaris*)根和商业虾青素]制备了 5 种类型的配方饲料,探究了不同饲料类型和色素来源对眼斑双锯鱼体色的影响,结果表明投喂含甜菜根色素提取物饲料的鱼的色素沉着范围和生长率最高。李翔等^[64]用南极磷虾粉分别替代饲料中 0%、30%、60% 和 90% 的鱼粉来喂养眼斑双锯鱼,经过 50 d 的投喂,其头部、背部和尾部橘黄色斑块的颜色亮度和色度值显著升高,说明南极磷虾可提升眼斑双锯鱼的体色饱和度。微绿球藻(*Nannochloropsis oculata*)和紫球藻(*Porphyridium cruentum*)中含有天然色素,Müge 等^[65]分析了含有 2 种藻类的饲料对白条双锯鱼体色的影响,结果表明用含有紫球藻的饲料喂养的白条双锯鱼增重率和鱼皮中总类胡萝卜素含量最高,有效提升了体色亮度。此外,马本贺等^[66]设置了 5 种不同光照环境(白光、红光、黄光、蓝光、绿光),发现白条双锯鱼在红色的光照环境下体表类胡萝卜素含量显著增加,同时酪氨酸酶活性减弱,表明红光可有效提高鱼体色泽饱和度。

虾青素是增加鱼体色亮度最有效的类胡萝卜素之一,可直接被鱼体吸收并作用于色素细胞形成组织沉淀。有研究表明,在饲料中添加不同剂量的虾青素可有效增加眼斑

双锯鱼幼鱼体色亮度和成活率,但对鱼的生长无显著影响^[67]。Jiang 等^[68]将虾青素作为膳食补充剂,发现天然虾青素[来自于雨生血球藻(*Haematococcus pluvialis*)]和人工合成虾青素随着浓度和补充时间的增加均可改善鱼体体色,浓度和补充时间表现出互作关系,但天然虾青素的增色效果更好。虽然,高浓度和长时间的虾青素作用对鱼类体色亮度的增强效果越明显,但目前虾青素的提取或合成成本很高,添加了虾青素的饲料更是价格不菲,因此在商业生产过程中还需权衡使用成本。Hasanah 等^[69]研究发现,有规律禁食(禁食 1 d,投喂 1 d)的眼斑双锯鱼幼鱼的生长、成活率和体色亮度与未禁食幼鱼无显著差异,这也为如何降低使用含有虾青素饲料的成本提供了解决思路。

小丑鱼是人工繁育最成功的鱼类之一,已实现十几个品种的大规模商业生产,价格低廉,容易在市场中购买,因此目前的相关研究也多针对小丑鱼进行^[70-72]。然而,与数量庞大的海水观赏鱼类相比,至今可完全实现人工繁育的种类仍非常少,显然,今后很长一段时间内,野生资源捕捞仍是国际海水观赏鱼贸易的主要供应方式。所以,除了要加强海水观赏鱼人工繁育技术的研究外,更为重要的是要加强野生资源和栖息地的保护。

4 海水观赏鱼产业存在的问题

4.1 开放人工繁育信息的交流和获取

海水观赏鱼的人工养殖对实现产业可持续发展至关重要,近几年,有关海水观赏鱼养殖的研究报道数量也在增长,其中 50% 的研究集中于初次喂食,其他介绍了从亲鱼养殖到幼鱼培育的研究成果^[5]。科研工作者可轻易地通过机构的图书馆获取水产养殖应用科学领域的出版物,但对于私营企业和私人爱好者则需支付昂贵的下载或订阅费用,出版物上的养殖技术信息能直接应用到实际商业生产的更是少之又少,这导致科研工作者和商业生产者或私人爱好者之间的脱节^[73]。科研工作者对知识产权的保护毋庸置疑,但从科学研究到商业应用还是离不开科研工作者和私营企业的相互配合。目前,在整个水产养殖领域中,对于养殖技术的保护极为重视,这主要由巨大经济利益的驱使。私人爱好者完全是出于对养殖观赏鱼的喜爱,没有任何经济目的,且更致力于原始未开发品物种的繁殖。实际上,私人爱好者在海水观赏鱼的人工繁育研究中贡献巨大,例如海水观赏鱼社区就是由来自全球的数百万私人爱好者组成的,社区内可以非常自由、开放的交流观赏鱼养殖技术,极大促进了养殖技术信息的流通和获取,激发了新的研究思路和方法,推动了人工繁育技术的进步。事实上,开放出版物获取途径,建立网上社区、论坛和公告板

等,无论是科研工作者、私营企业还是私人爱好者均可从中受益^[5]。

4.2 缺乏野生资源和贸易的可靠数据

海水观赏鱼贸易是一个越来越重要的行业,每年交易数量达数百万,但贸易数据的收集是非强制性的,因此对于贸易物种种类和数量还缺乏全面了解。贸易品种的繁多以及单品交易数量稀少,导致贸易数据的收集极为复杂和困难,这似乎是学术界和商界的共识^[74]。据报道,目前全球绝大多数海水观赏鱼贸易国都没有专业的贸易管理计划,或者他们制定的管理计划仅仅基于薄弱的科学研究和监测活动之上^[75],由于缺乏贸易数据导致贸易研究也变得极为困难^[9]。GMAD 是海水观赏鱼贸易数据的重要来源,这些数据是在特定物种水平上记录的,但到 2003 年该数据库已停止更新。目前,大多数海水观赏鱼贸易数据是根据诸如 FAO 统计数据库(www.fao.org/faosta)、水族馆贸易信息数据库、CITES 和欧盟统计局 [www.ec.europa.eu/eurostat/web/UNComtrade (<https://comtrade.un.org>)] 估算得到,但很多数据库物种贸易数据都存在缺失或错误。在贸易统计方面,显然需要更准确的数据,Biondo^[1]和 Rhyne 等^[9]通过收集进口海水观赏鱼商业发票,并建立数据集,表明这种方法可有效应用于海水观赏鱼数据实时监控系统。与许多国家一样,中国也缺少海水观赏鱼贸易数据监控系统,随着海水观赏鱼进口数量的逐年增加,建立数据库势在必行。以上研究提示,通过进口商业发票关联数据库的方法来进行数据收集和贸易监控可能会更加准确和高效。

4.3 防止物种入侵

观赏鱼贸易是一项大规模转移非本土活体鱼类的行业,每年交易量巨大,被认为是一种影响巨大的生物传播途径。观赏鱼通常生活在封闭的水族箱系统中,不与外界环境互通。一般情况下,因意外或人为释放进入野外的非本地物种会因环境不适应而死亡,但不可避免的是部分外来物种适应本地环境而大量繁殖,造成物种入侵。外来入侵物种会破坏本地的水生生态环境,掠夺本地物种的生存资源,严重威胁生态平衡和经济发展。因此,需要制定相关法律来规范海水观赏鱼贸易产业,减少外来物种入侵风险。20 世纪 90 年代至今,联合国、美国、欧盟、日本、澳大利亚等组织和国家陆续颁布了数十部法律、法规和防控体系,对外来入侵物种的预防、监测、控制和根除等措施以及早期预警和应对方法做出规定^[76]。中国是外来生物入侵比较严重的国家之一,但目前在国家层面尚缺乏一部专门用于外来物种管理的法律法规,分析和借鉴联合国、欧盟、美国等组织和国家的外来物种入侵管理条例,对我国相关法律法规的制定具有重要意义。

4.4 全球认证计划

海洋观赏渔业需确保对栖息地的破坏以及其他物种的影响最小化,有人建议采取限制渔业准入、建立保护区和设定捕捞量等措施,作为促进海水观赏鱼类贸易可持续发展的直接途径,最典型的例子是“生态标签”或环境认证计划被应用到国际观赏鱼贸易中。与同一类别的其他观赏鱼类相比,贴有“生态标签”的鱼类更环保^[77],标签保证特定鱼类的捕捞不会影响自然资源的可持续性或消费者周围的环境。海洋水族馆理事会和认证委员会 (Marine Aquarium Council, MAC) 为高质量的海洋产品和海洋生物国际贸易的良性发展制定标准,该标准被誉为确保市场需求、支持行业优质产品和可持续发展的最有效手段。MAC 创建了一个第三方认证计划,旨在确保“MAC 认证”标签符合可持续性标准。然而,这些认证计划加重了参与的公司或企业的生产成本,它们不得不向第三方认证机构以及 MAC 支付费用,并最终转嫁到消费者身上,同时由于 MAC 认证过于复杂和注重细节,因此很难得到有效实施,并于 2008 年该认证计划就宣布失败。因此,中国需要认真吸取 MAC 认证计划的教训,制定切实可行的新认证计划,例如,考虑到许多观赏鱼的批发商和零售商的经营规模相对较小,所以该计划应小而简单,才最有可能得到施行,同时必须确保不会使经营者承受过多的财政或行政负担^[13],才能得到产业链所有参与者(捕捞者、批发商、进出口商、零售商、消费者)的支持和认同。

5 展望

海水观赏鱼产业作为一种新兴产业,具有巨大的市场前景,每年贸易数量庞大,野生资源供不应求。因此,如何平衡野生资源压力 and 市场需求,实现产业的可持续发展是其面临的主要问题。采取友好型捕获方式、有效控制捕捞数量、强化贸易物种种类和数量管控、建立高效的贸易认证计划等都是促进野生资源保护的有效手段,但迄今这些方法都无法得到确切实施。中国人口数量世界第一,消费市场开拓潜力巨大,海水观赏鱼需求量逐年增加,产业前景广阔。虽然中国海水观赏鱼产业起步较晚,和国际社会还存在一定差距,但与其他国家相比,也具有制度优势和后发优势。因此,中国应积极学习其他国家在海水观赏鱼产业管理中的立法经验,扬长避短,同时发挥政府监督和调控优势,加大对海水观赏鱼研究的支持力度,鼓励开发人工繁育技术,努力开拓国内外市场,打造健康完善的产业链,才能实现海水观赏鱼产业的良性发展。世界海水观赏鱼产业正在蓬勃发展,只要中国抓住机遇,必将在国际海水观赏鱼产业占据一席之地。

参考文献:

- [1] BIONDO M V. Importation of marine ornamental fishes to Switzerland[J]. *Glob Ecol Conserv*, 2018, 15: e00418.
- [2] Food and Agriculture Organisation (FAO). The state of world fisheries and aquaculture 2016: contributing to food security and nutrition for all[R/OL]. Rome: FAO, 2016: 4-179. <http://www.fao.org/3/a-i5555e.pdf>.
- [3] MCCOLLUM B A. Consumer perspectives on the "web of causality" within the marine aquarium fish trade[J]. *Live Reef Fish*, 2007, 17: 20-30.
- [4] SIRAJUDHEEN T K, SALIM S S, BIJUKUMAR A, et al. Problems and prospects of marine ornamental fish trade in Kerala, India[J]. *J Fish Eco Dev*, 2014, 1151: 14-30.
- [5] POUIL S, TLUSTY M, RHYNE A, et al. Aquaculture of marine ornamental fish: overview of the production trends and the role of academia in research progress[J]. *Rev Aquacult*, 2019, 12(2): 1217-1230.
- [6] CHEN J Y, ZENG C, JERRY D R, et al. Recent advances of marine ornamental fish larviculture: broodstock reproduction, live prey and feeding regimes, and comparison between demersal and pelagic spawners[J]. *Rev Aquac*, 2019: 1-24.
- [7] 马本贺, 马爱军, 孙志宾, 等. 海水观赏鱼产业现状及其存在的问题[J]. *海洋科学*, 2016, 40(10): 151-159.
- [8] SCHWERDTNER M K, DANDAVA L, EKAU W. Fishing the last frontier: the introduction of the marine aquarium trade and its impact on local fishing communities in Papua New Guinea[J]. *Mar Policy*, 2014, 44: 279-286.
- [9] RHYNE A L, TLUSTY M F, SZCZEBAK J, et al. Expanding our understanding of the trade in marine aquarium animals[J]. *Peer J*, 2017, 5: e2949.
- [10] OLIVIER K. The ornamental fish market[J]. *Globefish Research Programme (FAO)*, 2001, 67: 91.
- [11] PLOEG A. The volume of the ornamental fish trade[C]//PLOEG A, HENSEN R R, FOSSÅ S A. International transport of live fish in the ornamental aquatic industry. Montfoort, The Netherlands: Ornamental Fish International, 2012: 44-57.
- [12] DOMINGUEZ L M, BOTELLA A S. An overview of marine ornamental fish breeding as a potential support to the aquarium trade and to the conservation of natural fish populations[J]. *Int J Sustain Dev Plan*, 2014, 9(4): 608-632.
- [13] TRACEY A K. Wild caught ornamental fish: a perspective from the UK ornamental aquatic industry on the sustainability of aquatic organisms and livelihoods[J]. *J Fish Biol*, 2019, 94: 925-936.
- [14] SUGIYAMA S, STAPLES D J, SMITH S F. Status and potential of fisheries and aquaculture in Asia and the Pacific[M]//Rome: FAO, 2004: 53.
- [15] WHITTINGTON R J, CHONG R. Global trade in ornamental fish from an Australian perspective: the case for revised import risk analysis and management strategies[J]. *Prev Vet Med*, 2007, 81(1/2/3): 92-116.
- [16] CATO J C, BROWN C L. Marine ornamental species: collection, culture and conservation[M]. Chichester, UK: John Wiley &

- Sons, 2008: 277-288.
- [17] MURUGAN A, SREEPADA R A, SANAYE S V, et al. Captive breeding and rearing of the yellow seahorse, *Hippocampus kuda* (Bleeker, 1852) in support of the marine ornamental fish industry and conservation[J]. Ind J Mar Sci, 2017, 46(10): 1996-2002.
- [18] RHYNE A L, TLUSTY M F, SCHOFIELD P J, et al. Revealing the appetite of the marine aquarium fish trade: the volume and biodiversity of fish imported into the United States[J]. PLoS One, 2012, 7: e35808.
- [19] MONTICINI P. The ornamental fish trade, production and commerce of ornamental fish: technical-managerial and legislative aspects[J]. Globefish Research Programme, 2010, 102: 132.
- [20] KUMAR T T A, GUNASUNDARI V, PRAKASH S. Breeding and rearing of marine ornamentals[M]//Advances in marine and brackishwater aquaculture. New Delhi: Springer, 2015: 101-107.
- [21] AHILAN B, WALKHOM G. Some prime marine ornamental fishes of India[J]. Fishing Chim, 2007, 27(7): 50-52.
- [22] WOOD E M. Collection of coral reef fish for aquaria: global trade, conservation issues and management strategies[R]. UK: Mar Conserv Soc, 2001: 7-59.
- [23] LEAL M C, VAZ M C M, PUGA J, et al. Marine ornamental fish imports in the European Union: an economic perspective[J]. Fish Fish, 2016, 17(2): 459-468.
- [24] WILKINSON C. Status of coral reefs of the world: 2008[C]. Townsville, Australia: Global Coral Reef Monitoring Network and Reef and Rainforest Research Centre, 2008: 198-233.
- [25] HUGHES T P, BARNES M L, BELLWOOD D R, et al. Coral reefs in the Anthropocene[J]. Nature, 2017, 546(7656): 82.
- [26] BURKE L, SELIG L, SPALDING M. Reefs at risk in Southeast Asia[J]. WRI China, 2001, 83(12): 2008-2010.
- [27] RUBEC P J, CRUZ F, PRATT V, et al. Cyanide-free net-caught fish for the marine aquarium trade[J]. Aquar Sci Conserv, 2001, 3(1/2/3): 37-51.
- [28] GREEN E P, TAYLOR M L, WABNITZ C. From ocean to aquarium: the global trade in marine ornamental species[J]. Cogitare Enferm, 2003, 8(1): 72-78.
- [29] MILITZ T A, KINCH J, FOALE S, et al. Fish rejections in the marine aquarium trade: an initial case study raises concern for village-based fisheries[J]. PLoS One, 2016, 11(3): e0151624.
- [30] RHYNE A L, TLUSTY M F, KAUFMAN L. Long-term trends of coral imports into the United States indicate future opportunities for ecosystem and societal benefits[J]. Conserv Lett, 2012a, 5: 478-485.
- [31] BIONDO M V. Quantifying the trade in marine ornamental fishes into Switzerland and an estimation of imports from the European Union[J]. Global Ecol Conserv, 2017, 11: 95-105.
- [32] JOB S. Marine ornamental fish culture[C]//FOTEDAR R K, PHILLIPS B F. Recent advances and new species in aquaculture. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2011: 277-317.
- [33] CALLAN C K, BURGESS A I, ROTHE C R, et al. Development of improved feeding methods in the culture of yellow tang, *Zebrasoma flavescens*[J]. J World Aquacult Soc, 2018, 49: 493-503.
- [34] PALMTAG M R. The marine ornamental species trade[C]//CALADO R, OLIVOTTO I, OLIVER MP, et al. Marine ornamental species aquaculture. Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd, 2017: 3-14.
- [35] LAIDLEY C W, BURNELL A F, SHIELDS R J, et al. Marine ornamentals: captive culture progress at the Oceanic Institute[J]. Global Aquac Adv, 2004, 7(2): 53-54.
- [36] BUSHNELL M E, CLAISSE J T, LAIDLEY C W. Lunar and seasonal patterns in fecundity of an indeterminate, multiple-spawning surgeonfish, the yellow tang *Zebrasoma flavescens*[J]. J Fish Biol, 2010, 76(6): 1343-1361.
- [37] HOLT G J, LUE M Y, CALLAN C K, et al. Large angelfish and other pelagic spawners[C]//CALADO R, OLIVOTTO I, OLIVER M P, et al. Marine ornamental species aquaculture. Chichester, UK: Wiley-Blackwell, 2017: 251-274.
- [38] SANG H M, LAM H S. Reproductive biology of blue tang fish (*Paracanthurus hepatus* Linnaeus, 1776) in Khanh Hoa seawater, Viet Nam[J]. Indian J Mar Sci, 2018, 47(4): 839-845.
- [39] SANG H M, LAM H S, HO L K H, et al. Changes in plasma and ovarian steroid hormone level in wild female blue tang fish *Paracanthurus hepatus* during a reproductive cycle[J]. Animals, 2019, 9(11): 889.
- [40] KUSUMAWATI D, SETIAWATI K M, PRIONO B. Perkembangan embrio dan larva ikan letter six, *Paracanthurus hepatus*[J]. J Ris Akua, 2015, 10(2): 177-185.
- [41] DIMAGGIO M A, CASSIANO E J, BARDEN K P, et al. First record of captive larval culture and metamorphosis of the Pacific blue tang, *Paracanthurus hepatus*[J]. J World Aquacult Soc, 2017, 48(3): 393-401.
- [42] 岳彦峰, 彭士明, 张晨捷. 狐篮子鱼的人工繁育技术研究[J]. 水产养殖, 2017, 38(11): 26-27.
- [43] 洪文霆. 小型海水神仙鱼人工繁育初步研究[D]. 厦门: 集美大学, 2019: 1-58.
- [44] HØJGAARD J K, HANSEN B W, HWANG J S. Prey capture capabilities by juveniles of the false percula clownfish (*Amphiprion ocellaris*) fed calanoid nauplii vs. adults[J]. Mar Freshw Behav Physiol, 2017, 50(5/6): 387-396.
- [45] BURGESS A I, CALLAN C K. Effects of supplemental wild zooplankton on prey preference, mouth gape, osteological development and survival in first feeding cultured larval yellow tang (*Zebrasoma flavescens*)[J]. Aquaculture, 2018, 495: 738-748.
- [46] LEU M Y, SUN Y H, MENG P J. First results of larval rearing and development of the bluestriped angelfish *Chaetodontoplus septentrionalis* (Temminck & Schlegel) from hatching through juvenile stage with notes on its potential for aquaculture[J]. Aquac Res, 2015, 46(5): 1087-1100.
- [47] SHEI M R P, RODRIGUES R V, SAMPAIO L A. Use of commercial live feeds enrichment during first feeding period of the barber goby *Elacatinus figaro*[J]. Aquac Aquar Conserv Legis, 2012, 5(1): 9-12.
- [48] OLIVOTTO I, STEFANO M D, ROSETTI S, et al. Live prey enrichment, with particular emphasis on HUFAs, as limiting factor

- in false percula clownfish (*Amphiprion ocellaris*, Pomacentridae) larval development and metamorphosis: molecular and biochemical implications[J]. *Comp Biochem Physiol A*, 2011, 159(3): 207-218.
- [49] LAM H S, HUE N T N, AN D T, et al. Effect of enriching live feeds with HUFA on growth and survival of clownfish *Amphiprion ocellaris* (Cuvier, 1830) larvae[J]. *Vie J Mar Sci Technol*, 2019, 19(4A): 191-199.
- [50] IWATA E, NAGAI Y, HYODOU M, et al. Social environment and sex differentiation in false clown anemonefish, *Amphiprion ocellaris*[J]. *Zool Sci*, 2008, 25: 123-128.
- [51] IWATA E, YOSHIDA T, ABE T, et al. Behavioural differences between breeding and nonbreeding pairs of protandry monogamous false clown anemonefish *Amphiprion ocellaris*[J]. *J Fish*, 2020, 8(2): 808-816.
- [52] CHEN T H, HSIEH C Y. Fighting Nemo: effect of 17 alpha-ethinylestradiol (EE2) on aggressive behavior and social hierarchy of the false clown anemonefish *Amphiprion ocellaris*[J]. *Mar Pollut Bull*, 2017, 124(2): 760-766.
- [53] IWATA E, SUZUKI N, OHNO S. Influence of social stability on the sex determination process in false clown anemonefish (*Amphiprion ocellaris*)[J]. *Mar Freshw Behav Physiol*, 2019, 52(3): 107-119.
- [54] IWATA E, SUZUKI N. Steroidal regulation of the aromatase gene and dominant behavior in the false clown anemonefish *Amphiprion ocellaris*[J]. *Fish Sci*, 2020, 86: 457-463.
- [55] 王成龙, 关文志, 李永强, 等. 17 β -雌二醇诱导黄颡鱼雌性化的研究[J]. *南方水产科学*, 2020, 16(3): 26-30.
- [56] ABDUH M Y, THUONG N P, ABOL-MUNAFI A B, et al. Producing false clownfish (*Amphiprion ocellaris*) male broodstock by administering 17 α -methyltestosterone to protandrous hermaphrodite juveniles[J]. *Aquac Aquar Conserv Legis*, 2020, 13(2): 746-759.
- [57] THUONG P N, SUNG Y Y, AMBAK M A, et al. The hormone 17 α -estradiol promotes feminization of juveniles protandrous hermaphrodite false clownfish (*Amphiprion ocellaris*)[J]. *Mar Freshw Behav Physiol*, 2017, 50(3): 195-204.
- [58] KUWAMURA T, KADOTA T, SUZUKI S. Testing the low-density hypothesis for reversed sex change in polygynous fish: experiments in *Labroides dimidiatus*[J]. *Sci Rep*, 2015, 4: 4369.
- [59] 黄文, 杨宪宽, 徐新, 等. 激素诱导斜带石斑鱼 (*Epinephelus coioides*) 雄性化的研究[J]. *海洋与湖沼*, 2014, 45(6): 1317-1323.
- [60] 陈淑吟, 张志勇, 刘海林, 等. 池养黑鲷 (*Acanthopagrus schlegelii*) 性逆转组织学观察[J]. *海洋科学*, 2017, 41(7): 51-57.
- [61] BOOTH M A, WARNER-SMITH R J, ALLAN G. Effects of dietary astaxanthin source and light manipulation on the skin color of Australian snapper *Pagrus auratus* (Bloch & Schneider, 1801)[J]. *Aquac Res*, 2004, 35(5): 458-464.
- [62] ROHMAWATY O. Analisis kelayakan pengembangan usaha ikan hias air tawar pada arifin fish farm, Desa Ciluar, Kecamatan Bogor Utara, Kota Bogor[J]. *IPB*, 2010, 107: 1-67.
- [63] DEVI K N, KUMAR T T A, BALASUBRAMANIAN T. Pigment deficiency correction in captive clown fish, *amphiprion ocellaris* using different carotenoid sources[J]. *J Fish Sci Com*, 2016, 9(4): 72-79.
- [64] 李翔, 徐国辉, 姜光朋, 等. 南极磷虾粉替代鱼粉对公子小丑鱼生长性能、饲料利用和体色的影响[J]. *青岛农业大学学报(自然科学版)*, 2019, 36(3): 214-217.
- [65] MÜGE A H, KÜRAT F, AHIN S, et al. Effect of supplemented algal carotenoid diets on skin color of tomato clownfish, *Amphiprion frenatus*[J]. *Pak J Zool*, 2017, 49(2): 663-668.
- [66] 马本贺, 孙志宾, 马爱军, 等. 环境光色对白条双锯鱼 (*Amphiprion frenatus*) 幼鱼的影响及相关基因克隆研究[J]. *海洋与湖沼*, 2017, 48(1): 148-154.
- [67] YULIANTI E S, MAHARANI H W, DIANTARI R. Efektivitas pemberian astaxanthin pada peningkatan kecerahan warna ikan badut (*Amphiprion ocellaris*)[J]. *Rek Teknologi Bud Pera*, 2014, 3(1): 313-318.
- [68] JIANG J, NUEZ-ORTIN W, ANGELL A, et al. Enhancing the colouration of the marine ornamental fish *Pseudochromis fridmani* using natural and synthetic sources of astaxanthin[J]. *Algal Res*, 2019, 42: 101596.
- [69] HASANAH U, DAMAYANTI A A, AZHAR F. Pengaruh laju pemuasaan secara periodik terhadap pertumbuhan kelangsungan hidup dan kecerahan warna ikan badut *Amphiprion ocellaris*[J]. *J Biol Trop*, 2020, 20(1): 46-53.
- [70] 李泽滨, 李云, 蔡生力, 等. 温度与光照周期对公子小丑鱼幼鱼生长及相关生长基因表达的影响[J]. *上海海洋大学学报*, 2017, 26(3): 322-329.
- [71] 赵旺, 牛津, 胡静, 等. 饲料糖水平对眼斑双锯鱼幼鱼生长性能和体成分的影响[J]. *南方水产科学*, 2017, 13(3): 67-72.
- [72] 胡静, 吴开畅, 叶乐, 等. 急性盐度胁迫对克氏双锯鱼幼鱼过氧化氢酶的影响[J]. *南方水产科学*, 2015, 11(6): 73-78.
- [73] RHYNE A L. The importance of open access in technology transfer for marine ornamental aquaculture: the case of hobbyist-led breeding initiatives[J]. *Aquac Aquar Conserv Legis*, 2010, 3(3): 269-272.
- [74] WATSON I, ROBERTS D. Literature review: the benefits of wild caught ornamental aquatic organisms[R/OL]. Westbury: OATA, 2015: 84-90. <https://ornamentalfish.org/wp-content/uploads/Literature-Review-The-Benefits-of-Wild-Caught-Ornamental-Aquatic-Organisms.pdf>.
- [75] DEE L E, HORII SS, THORNHILL D J. Conservation and management of ornamental reef wildlife: success, shortcomings, and future directions[J]. *Biol Conserv*, 2014, 169: 225-237.
- [76] 曹堃程, 张国良. 外来入侵物种法律法规汇编[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 293-300.
- [77] GOODLAND R. Ecolabeling: opportunities for progress toward sustainability[M]. Washington, D. C.: Consumer's Choice Council, 2002: 52.